

## 지리산 서부지역에서 고도와 임령에 따른 임분 구조 변화

박필선<sup>1\*</sup> · 송정임<sup>1</sup> · 김명필<sup>2</sup> · 박학기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학 남부학술림

### Stand Structure Change in Different Aged Stands Along Altitudinal Gradients in the Western Part of Mt. Chiri

Pil Sun Park<sup>1\*</sup>, Jung Im Song<sup>1</sup>, Myeong Pil Kim<sup>2</sup> and Hak Gi Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>2</sup>Seoul National University Forest, Gwangyang 545-808, Korea

**요 약:** 고도와 임령에 따른 임분 구조 변화를 알아보기 위하여 지리산 서부 지역의 해발 고도 약 400 m, 800 m, 1,000 m, 1,300 m 지역에 위치한 임분에서 20 m×20 m 방형구를 각각 3-8개씩 설치하고, 흉고직경 2.5 cm 이상인 임목을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)와 구상나무(*Abies koreana* Wilson)의 연령을 바탕으로 임령을 추정된 후 고도와 임령에 따른 수종 구성과 임분 구조를 분석하였다. 임분들은 고도에 따라 다른 수종 구성을 보였으며, 침엽수의 경우 고도 400 m 지역에서는 소나무가, 1,300 m 지역에서는 구상나무가 우점수종으로 나타났다. 참나무류는 낮은 지역의 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume)에서 고도가 높아짐에 따라 800 m 지역에서는 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb. ex Murray), 1,000 m 이상에서는 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)로 우점수종이 변하였다. 직경분포는 고도에 따른 차이가 크지 않았으나, 임분의 상층 수고는 고도가 높아짐에 따라 낮아져, 1,000 m 이상에서는 수고 20 m 이상의 임목이 거의 나타나지 않았다( $P < 0.0001$ ). 고도 400 m 지역의 소나무 우점 임분은 대략 30-40년과 70년생의 두 연령 그룹을 가졌으며, 고도 800 m 지역의 졸참나무 우점 임분의 임령은 약 30년인 것으로 추정되었다. 고도 1,300 m에 지역에서 신갈나무 우점 임분은 상층 임목이 들어온 후 약 70년, 구상나무 우점 임분은 140년 이상된 것으로 추정되었으며, 직경분포는 임령에 따라 소나무에서 신갈나무, 신갈나무에서 구상나무로 우점종의 변화 가능성을 보여주었다.

**Abstract:** The change of species composition and stand structure along altitudinal gradients in different aged stands was studied in five natural stands located each at 400 m, 800 m, 1,000 m, and two at 1,300 m above sea level (asl) in the western part of Mt. Chiri in Korea. Trees larger than 2.5 cm DBH were inventoried in 3 to 8 20 m×20 m quadrats in each study site. Stand ages were estimated based on the ages of *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. and *Abies koreana* Wilson, and used to analyze the changes in species composition and stand structure including diameter and height distributions. Species composition was changed along altitudinal gradients as *P. densiflora* dominated stands at 400 m asl while *A. koreana* dominated stands at 1,300 m asl. Major species of *Quercus* also changed along altitudinal gradients as *Quercus variabilis* Blume at 400 m asl, *Quercus serrata* Thunb. ex Murray at 800 m asl, and *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. at higher than 1,000 m asl. The diameter distribution did not show significant differences among stands of different altitudes. However, the height distributions of upper crown layers were significantly different among stands at below and above 1,000 m asl ( $P < 0.0001$ ). Trees taller than 20 m rarely appeared in stands over 1,000 m asl. *P. densiflora* dominant stands at 400 m asl developed two clumped age groups as one in 30-40 ages and the other around 70 years old. *Q. serrata* dominant stands at 800 m asl, *Q. mongolica* dominant stands at 1,300 m asl and *A. koreana* dominant stands at 1,300 m asl were estimated to be around 30, 70, and over 140 years old after major disturbances, respectively. The diameter distribution with age structure indicated that *P. densiflora* at 1,300 m asl might be replaced by *Q. mongolica*, and *Q. mongolica* might be replaced by *A. koreana* and *Pinus koraiensis* later. *A. koreana* dominant stand seemed to stay its dominance quite long if the large disturbance would be absent.

**Key words :** stand structure, species composition, stand age, altitude, diameter distribution

\*Corresponding author  
E-mail: pspark@snu.ac.kr

## 서론

고도는 온도와 습도, 바람의 속도에 직접적으로 영향을 미치며 식생의 분포를 결정하는 기후에 영향을 받는다(Kimmins, 1996; Zhang *et al.*, 2005). 지리산은 한라산을 제외하면 우리나라 남부지역에서 가장 높은 봉우리를 가진 산으로 고도에 따라 난대림, 온대림, 한대림이 모두 나타나고 있어 고도에 따른 식생의 변화를 조사하기 적합한 곳이라 할 수 있다(국립공원관리공단, 2005). 또한 최초의 국립공원으로 지정되어 남한 지역의 다른 숲보다 일찍 보호되기 시작하였으며, 산세가 험하여 지리적인 접근이 어려웠으므로 다른 지역에 비해 오래된 임분이 비교적 많이 남아 있는 곳이기도 하다. 인간에 의해 훼손된 산림이 대부분인 우리나라의 현실에서 지리산에 남아있는 자연림은 우리나라 고유의 임분 구조에 관한 연구의 주요 대상이 되어 왔고, 이러한 연구는 특히 자연림으로 남아 있을 것으로 기대되는 고산지대에 분포하는 잣나무와 구상나무림을 중심으로 이루어져 왔다(강상준, 1984; 김갑태 등, 1997; 박광우와 정성호, 1990; 이강영, 1977; 조도순, 1994). 또한 지금까지의 연구들은 임분 내 수종의 구성과 임분 구조의 현황 파악에 보다 중점을 두어 왔다.

임분의 수종 구성과 임분 구조는 임목의 연령과 함께 과

거 임분의 발달을 추적하는 유용한 자료이며, 향후 임분의 발달을 예측하는데 기본 자료로 이용된다(Arista, 1995; Tyrrel and Crow, 1994; Worbes *et al.*, 2003; Youngblood *et al.*, 2004). 소나무는 천이의 초기에 들어오는 선구 수종으로 극양수여서 일단 수관층이 발달하고 나면 후속적인 소나무의 갱신이 힘들다 수명이 길어 200-300년생도 종종 나타난다. 이러한 소나무의 생태적 특성은 교란 후의 임령과 우점 수종의 변화를 포함한 임분의 발달 예측에 있어 소나무의 이용이 가능하도록 한다. 따라서 본 연구는 임분 내 남아있는 소나무를 이용하여 임령을 추측하고, 고도와 임령에 따른 수종 구성과 임분의 변화를 추정하고자 하였다. 본 연구의 목적은 고도에 따른 수종 구성을 파악하고, 임분이 발달해감에 따라 달라지는 수종 구성과 임분 구조의 변화 경향을 파악하는 것이다.

## 연구방법

### 1. 연구지 개황

본 연구는 지리산의 서쪽 지역 노고단을 중심으로 반경 5 km 이내의 지점에 설치한 5개의 조사지역에서 수행되었다(Figure 1). 이 지역의 강수량은 지리산을 경계로 남쪽 지역은 1,600-1,800 mm/년, 북쪽 지역은 1,400 mm/년

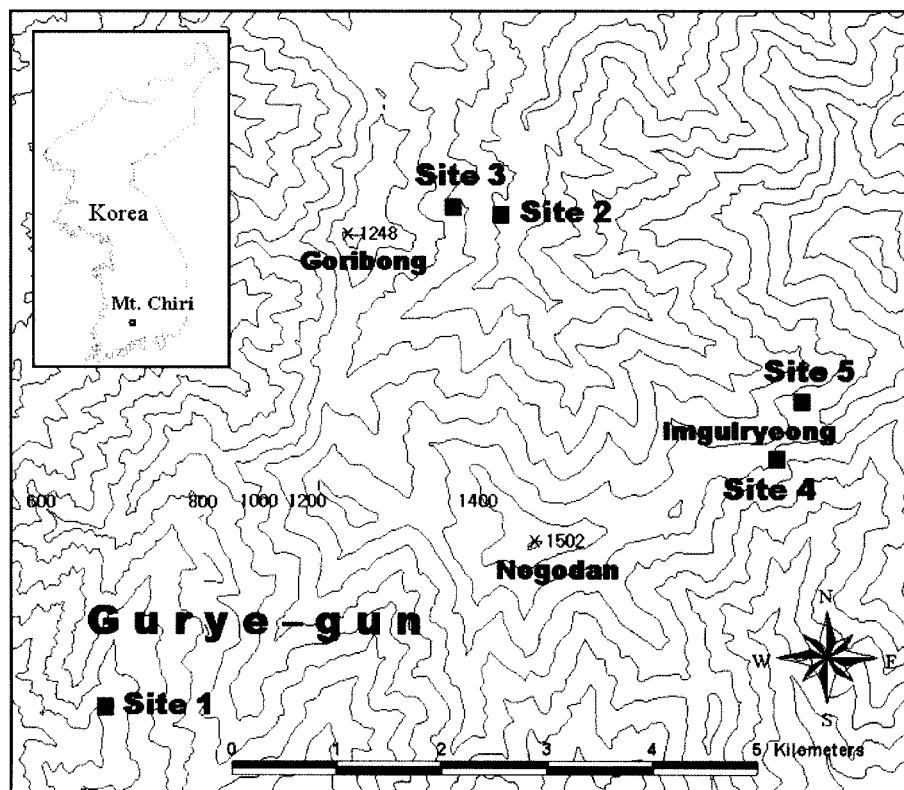


Figure 1. Study area was located in the western part of Mt. Chiri. 5 study sites were established around Nogodan within 5 km distance. Site 1, site 2, and site 3 were located at approximately 400 m asl, 800 m asl, and 1,000 m asl respectively. Site 4 was a *Quercus mongolica* dominant stand at 1,300 m asl. Site 5 was an *Abies koreana* dominant stand at 1,300 m asl.

Table 1. Plot description.

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
No. Subplots*	8	3	8	8	8
Altitude (m)	386-396	744-850	981-998	1345-1,383	1299-1326
Approximate altitude (m)	400	800	1,000	1,300	1,300
Aspect	W	N, NE	N, NE, E	N	W
Slope (%)	20-45	15-72	40-120	30-110	22-43
Topography	Middle slope, valley	Lower ridge, upper slope	Upper slope, ridge	Upper slope, ridge	Middle slope
Rock exposure (%)	90-98	0	10-90	0-6	55-100
Dominant species	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. serrata</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>A. koreana</i>

\*No. subplots indicates number of subplots (20 m × 20 m) inventoried within a study site.

으로 달라지며 연중 강수량의 50% 이상이 여름철에 집중된다. 겨울의 찬 북서풍과 여름의 남동계절풍을 지리산이 막고 있기 때문에 지리산의 남쪽은 북쪽보다 같은 고도에서 연평균 약 2°C 정도 높은 것으로 알려져 있다(임양재와 김정언, 1992). 남원 측후소에서 1975-1995년간 측정된 자료에 의하면 연평균기온은 12.2°C, 여름 평균기온 23.6°C이다(이윤원과 홍성천, 1995). 해발 1,070 m에 위치하고 있는 성삼재에서 2002년 4월 1일부터 3년간 측정된 자료에서는 강수량 2,083.5 mm, 연평균기온 7.8°C, 여름(6월-8월) 평균기온 18.3°C이며 겨울에는 최저기온이 -20°C 까지 내려가기도 하는 것으로 나타났다(기상청, 2005). 겨울철에는 주로 북서풍이, 여름철에는 주로 남동풍이 불고 있으나, 서쪽이 개방된 지역에는 북서풍이, 남쪽이 개방된 지역은 남풍이나 남동풍의 빈도가 높다(임양재와 김정언, 1992).

지리산은 약 1,526여 종의 식물과 400여 종의 동물 등 풍부한 동식물상을 보유한 것으로 알려져 있으며, 수직적으로 난대식물에서 한대식물까지 분포하며, 한국 특산식물과 지리괴불나무 등의 지리산 특산 식물도 분포한다(국립공원관리공단, 2005). 주요 우점 수종은 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.), 개서어나무(*Carpinus tschonoskii* Maxim. var. *tschonoskii*), 서어나무(*Carpinus laxiflora* (Siebold & Zucc.) Blume var. *laxiflora*), 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb. ex Murray), 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume) 등이고, 고지대에서는 구상나무(*Abies koreana* Wilson) 군락이 나타난다.

## 2. 방형구 설치

2004년 4월-2005년 10월 사이 지리산 서부지역 해발 고도 약 400 m(Site 1), 1,000 m(Site 3), 1,300 m(Site 4 and Site 5) 지역에 각각 1개의 100 m × 100 m 방형구를 설치하고 각 방형구 내 8개의 20 m × 20 m 소방형구에서 흉고 직경 2.5 cm 이상인 임목을 대상으로 매목조사를 실시하였다(Table 1). 해발 800 m 지역(Site 2)에서는 3개의 20 m × 20 m 소방형구에서 매목조사를 실시하였다. 해발 1,300 m 지역의 두 조사지역 중 신갈나무 우점 임분은 Site

4, 구상나무 우점 임분은 Site 5로 표시하였다. 매목조사는 종명, 흉고직경, 수고, 수관폭, 수관비율에 대하여 이루어졌다.

## 3. 수종구성

각 임분별로 수종의 상대밀도, 상대피도, 상대빈도를 이용하여 중요도(Importance Value)를 구하였다(Cox, 1996). 중요도를 구하는데 있어 교목, 아교목, 관목 수종을 구분하지 않고 통합하여 중요도를 계산하였다. 피도는 임목의 흉고단면적을 이용하여 구하였다.

## 4. 임분의 연령 추정

임분 내 모든 임목에 대한 절편 채취에는 시간과 기술적인 제약이 따르므로 임분별로 대표 임목에서 절편을 채취한 후 다른 임목들의 흉고직경과 비교하여 임령을 추정하였다. 절편 채취를 위해서 가장 큰 직경급 또는 밀도가 가장 큰 직경급의 소나무 또는 구상나무와 그 외 주요 수종을 조사지 당 8개씩 선정(800 m 지역은 2개)하여 지상부 50 cm 높이에서 절편을 채취하여 연륜의 수를 세어 임목의 연령으로 하였다. 연령 조사는 가능한 소나무를 이용하려 하였고, 소나무가 드문 경우 구상나무 등의 침엽수종을 이용하였다. 소나무는 교란이 일어난 후 먼저 들어오는 초기 수종으로 수관이 밀폐된 후에는 활착이 어려운 점에 기인하여 임분 내 소나무의 연령을 이용하여 임분의 연령을 추정하고자 하였다. 활엽수는 단단하여 생장추를 이용한 절편 채취에 어려움이 있어 가능한 피했다. 고도 1,000 m 지역(Site 3)은 침엽수가 거의 나타나지 않아 생장추에 의한 연령 측정이 어려워 연령을 추정하지 않았다.

연령과 흉고직경의 비교를 위하여 임분별로 중요도가 높은 교목 수종 6-9개를 수종별로 흉고직경에 따라 일렬로 늘어놓아 분산그래프를 만들었다(Figure 2(A), (C), (E), (F), (H)). 또한 각 임분별로 연령 측정을 위한 절편을 채취한 수종을 대상으로 연령과 흉고직경을 각 축으로 하여 분산그래프를 작성하였다(Figure 2(B), (D), (G), (I)). 작성한 수종별 흉고직경 그래프를 연령과 흉고직경 그래프와

나란히 놓고 비교하여 연령을 조사한 임목의 직경이 임분 내 직경분포에서 차지하는 위치를 파악하고 임분 내 다른 임목의 연령 분포를 추정하였으며, 임분의 연령을 추정하였다.

5. 임분구조 분석

직경분포는 10 cm 간격으로 각 직경급에 속하는 임목수를 계산하여 각 임분별 직경분포를 알아보았다. 직경급은 2.5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40 cm 이상으로 구분하였다. 수고는 5 m 간격으로 (5 m, 5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, 20 m≤ 로 구분하여 각 수고급에 속하

는 임목수를 계산하였다. 임분간 밀도 차이와 수고 분포의 차이를 알아보기 위하여 수고 분포는 수고 15 m 이상의 임목을 대상으로, 밀도는 전체 임목수를 대상으로 분석분석을 실시하고 0.05 유의수준에서 Tukey test를 실시하였다(Zar, 1996).

결 과

1. 고도에 따른 수종 구성 및 직경분포와 연령 추정

각 임분의 주요 수종은 임분의 연령 및 임분의 고도에 따라 차이를 보였다(Table 2). 400 m 고도에 위치한 임분

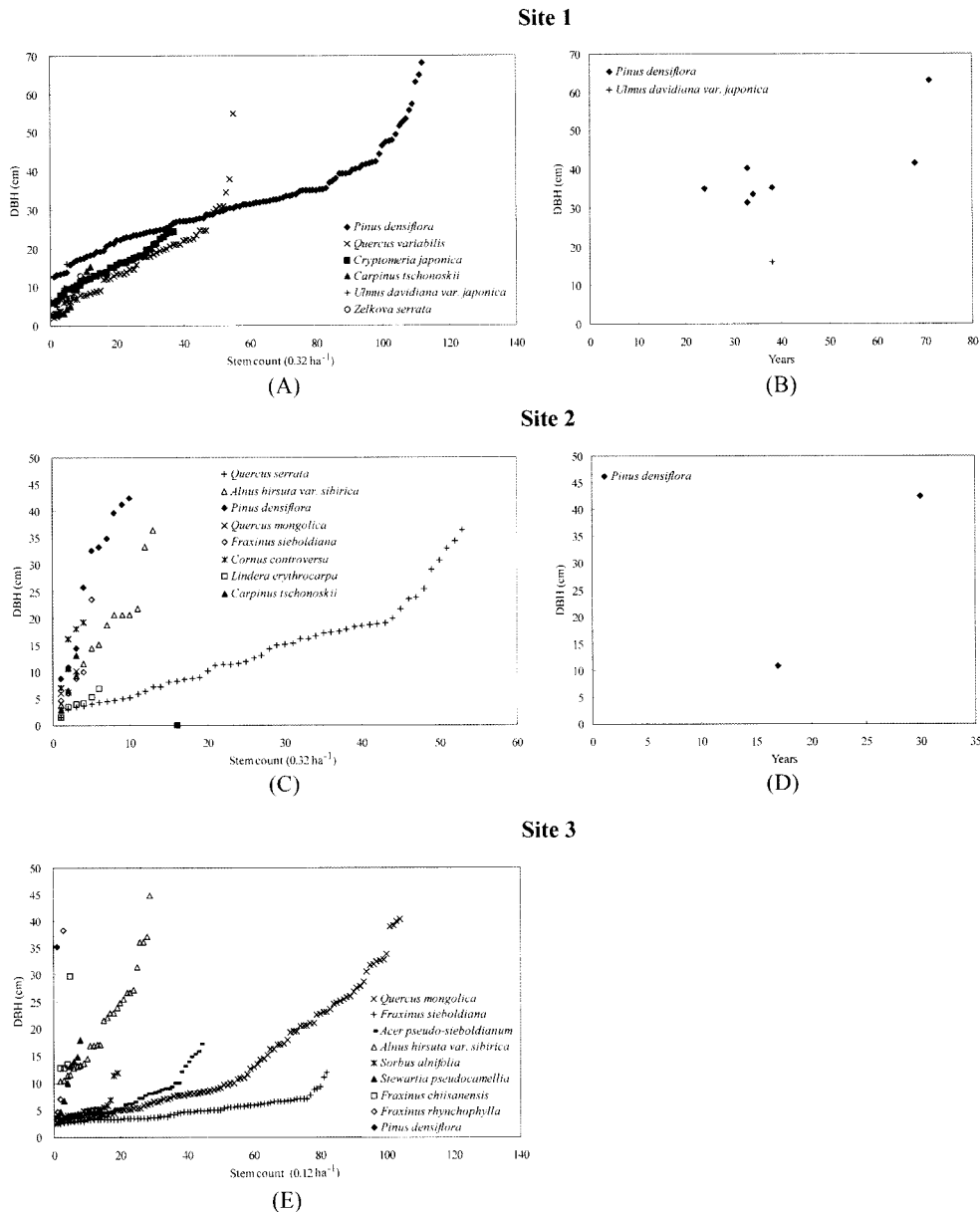


Figure 2. Comparison of diameter distribution and diameter-age distribution. Graphs on the left side ((A), (C), (E), (F), and (H)) show individual tree diameter distribution and graphs on the right side ((B), (D), (G), (I)) show diameter-age distribution from the same study site. If the trees on both graphs are the same species with same diameter, they are considered as same tree. Site 1 graphs show stands at 400 m asl; Site 2 graphs show stands at 800 m asl; Site 3 graphs show stands at 1,000 m asl; Site 4 and Site 5 graphs show stands at 1,300 m asl with *Quercus mongolica* dominant and *Abies koreana* dominant, respectively.

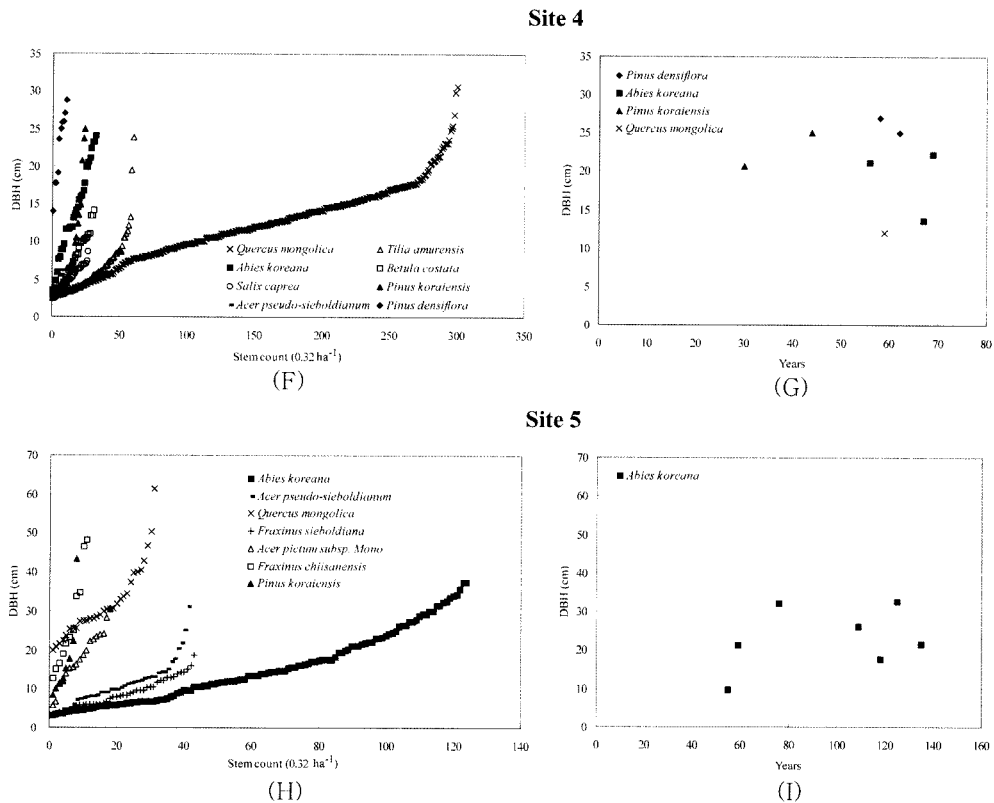


Figure 2. Continued.

(Site 1)에서는 소나무가 우점하고 있었고, 굴참나무와 삼나무(*Cryptomeria japonica* (L.f.) D.Don)가 모든 직경급에 고르게 분포하고 있었다(Figure 2-Site 1). 소나무는 10 cm 이상의 직경급에서만 분포하였다. 또한 개서어나무와 느릅나무(*Ulmus davidiana* var. *japonica* (Rehder) Nakai), 느티나무(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino)가 낮은 직경급에서 다수 나타났으며, 비목나무(*Lindera erythrocarpa* Makino), 산벚나무(*Prunus sargentii* Rehder)도 간간이 나타났다. 아교목층과 관목층에서는 개웃나무(*Rhus tricolor* Miq.)와 붉나무(*Rhus javanica* L.), 매죽나무(*Styrax japonicus* Siebold & Zucc.)가 대부분을 차지하고 있었다. 이 임분은 소나무가 우점하고 있는 임분으로 소나무 연령은 24년에서 61년까지 나타났으나, 직경분포와 비교해볼 때 대부분의 소나무는 30-40년 사이의 연령대인 것으로 추정된다. 느릅나무의 연령은 지상부 50 cm에서 38년이였다

해발 800 m 지역의 임분(Site 2)은 졸참나무와 소나무가 우점하고 있으며 물갸나무(*Alnus hirsuta* var. *sibirica* (Spach) Schneid)와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance)도 다양한 직경급에 존재하였다(Figure 2-Site 2). 일부 소나무가 5-10 cm 직경급에도 존재하고 있었으나 불연속적인 직경분포를 보여주었다. 높은 직경급의 소나무는 30년생으로 추정되었으며, 10-15 cm 직경급의 소나무

는 17년생으로 나타났다.

해발 1,000 m 지역의 임분(Site 3)은 신갈나무가 우점하고 있었으며, 물갸나무가 그 다음으로 높은 중요도를 차지하고 있었다(Figure 2-Site 3). 또한 높은 직경급에서는 소나무와 물푸레나무가 드물게 나타났다. 낮은 직경급에서는 쇠물푸레나무(*Fraxinus sieboldiana* Blume)와 당단풍나무(*Acer pseudo-sieboldianum* (Pax) Kom.)가 다수 존재하였다.

해발 1,300 m 지역의 Site 4에서는 신갈나무가 우점하고 있었으며, 피나무(*Tilia amurensis* Rupr.), 잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), 구상나무, 소나무가 상층에 다수 나타났었다(Figure 2-Site 4). 소나무는 10 cm 이상의 직경급에서만 나타난 반면, 잣나무와 구상나무는 낮은 직경급부터 높은 직경급까지 여러 직경급에 분포하고 있었고, 피나무는 낮은 직경급에서는 모두 나타나다가 높은 직경급에서는 불연속적으로 분포하였다. 이 임분에서 27 cm, 25 cm 흉고직경을 가진 소나무는 각각 58년생, 62년생으로 나타났다. 잣나무는 가장 높은 직경급에 나타난 임목에서 절편을 채취했으나, 25 cm 직경 임목이 44년생, 20.7 cm 직경이 30년생으로 나타나, 같은 직경급에 속하는 나무라도 연령의 차이가 컸다. 구상나무는 직경 13.6-22.3 cm 사이의 임목이 56년-67년 사이를 나타내었다. 직경 12 cm의 신갈나무의 연령이 59년생으로 나타났다.

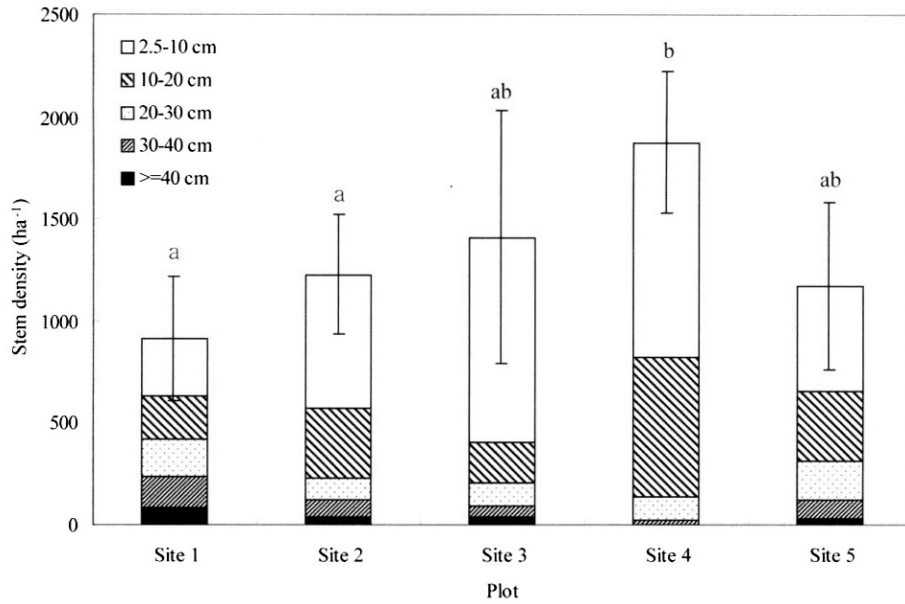


Figure 3. The diameter distribution in stands of different altitudes and different dominant species. Error bars represent S.D. of total stem density; columns sharing a common letter are not significantly different at the  $P < 0.05$  level using the Tukey's test. Site 1: *Pinus densiflora* dominant stands at 400 m asl; Site 2; *Quercus serrata* dominant stands at 800 m asl; Site 3: *Quercus mongolica* dominant stands at 1,000 m asl; Site 4 and Site 5: *Quercus mongolica* and *Abies koreana* dominant stands respectively at 1,300 m asl. Legends indicate DBH classes.

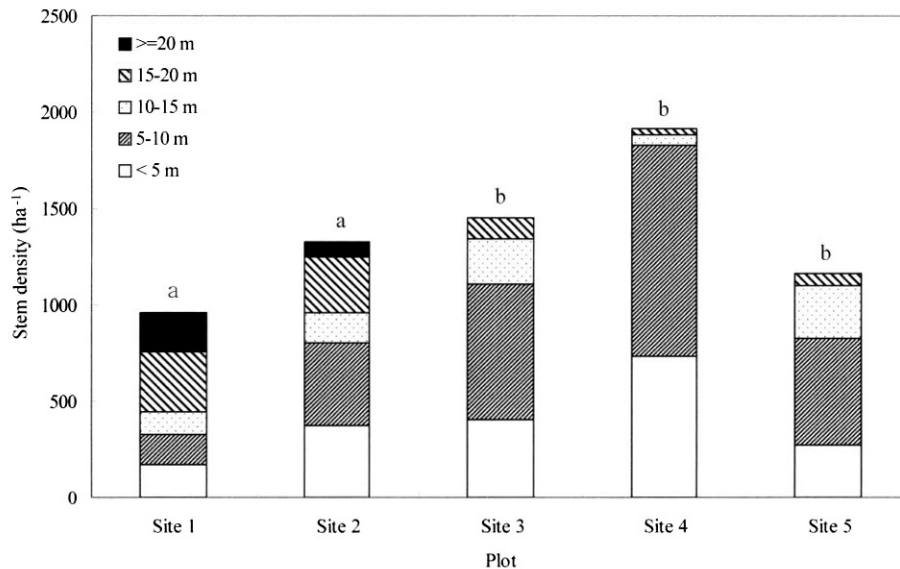


Figure 4. The height distribution in stands of different altitudes and different dominant species. Columns sharing a common letter are not significantly different at the  $P < 0.05$  level using the Tukey's test on the stem density of the trees taller than 15 m. site 1: *Pinus densiflora* dominant stands at 400 m asl; Site 2; *Quercus serrata* dominant stands at 800 m asl; Site 3: *Quercus mongolica* dominant stands at 1,000 m asl; Site 4 and Site 5: *Quercus mongolica* and *Abies koreana* dominant stands respectively at 1,300 m asl. Legends indicate height classes.

해발 1,300 m에 위치한 Site 5는 구상나무가 우점하고 신갈나무와 물들메나무(*Fraxinus chiisanensis* Nakai), 잣나무가 상층에 다수 존재하였다(Figure 2-Site 5). 구상나무는 낮은 직경급부터 높은 직경급까지 연속적인 직경분포를 보여준 반면, 잣나무와 물들메나무, 신갈나무는 높은 직경급에서 불연속적인 분포를 보였다. 또한 직경급 20 cm 미만에서는 신갈나무가 거의 나타나지 않았다. 낮은

직경급에서는 당단풍나무와 쇠물푸레나무가 다수 나타났다. 구상나무의 연령분포는 55년생에서 135년생까지 다양하게 나타났으며, 같은 직경급이라도 다양한 연령대가 나타났다. 직경 21.2 cm의 임목이 59년생으로 나타난 반면, 21.6 cm의 임목은 135년생으로 나타났고, 32.3 cm의 임목이 76년생인 반면, 32.7 cm의 임목은 125년생으로 나타나 구상나무는 같은 직경대에서 다양한 연령을 가지고, 같은 연

령대에서도 다양한 직경급을 가졌다.

## 2. 임분 밀도와 수고 분포

전체 임목의 밀도는 임분 간에 차이를 보였으며( $P < 0.002$ ), Tukey test의 결과 1,300 m에 위치한 신갈나무 우점 임분(Site 4)과 낮은 고도의 소나무, 졸참나무 우점 임분(Site 1과 Site 2)과 차이가 유의하게 나타났다(Figure 3). 전체 밀도는 신갈나무 우점 임분이 1,413본/ha, 1,878본/ha로 구상나무 임분(1,172본/ha)과 소나무 임분(917본/ha)에 비해 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 직경급 30 cm 이상은 전체 밀도의 6.4%, 1.3%만을 차지하고 있었다. 반면 소나무 우점 임분과 구상나무 우점 임분은 직경급 30 cm 이상이 각각 25.7%, 10.4%를 차지하고 있었다.

수고 분포는 임분 내 연령이나 주요 수종간의 차이보다 해발고도에 의해 차이가 큰 것으로 보인다(Figure 4). 수고 15 m 이상 임목의 밀도를 비교했을 때 해발 400 m와 800 m의 임분과 1,000 m 이상 임분간에 현저한 차이가 나타났다( $P < 0.0001$ ). 수고 15 m 이상의 임목 밀도는 해발 400 m와 800 m 임분에서 300본 이상이었으나, 해발 1,000 m 이상에서는 50본 이하로 줄었다. 또한 해발 1,000 m 이상에서는 수고 20 m 이상의 임목은 측정되지 않았다.

## 고찰

### 1. 해발고에 따른 수종 구성과 임분 구조 변화

연구 지역에서 임분의 수종 구성은 해발 800-1,000 m 부근을 경계로 차이가 커지는 것으로 보였으며, 해발고와 임령은 모두 수종 구성에 영향을 미쳤다. 소나무는 고도 400 m-1,300 m까지 모두 분포하여 가장 넓은 분포범위를 보였다. 고도 400-1,300 m의 조사지역에서 모두 중요도(Importance Value) 10위 안에 드는 수종은 소나무 뿐이었다(Table 2). 구상나무와 잣나무는 고도 1,300 m 지역에서 나타났다. 참나무류의 분포는 고도에 따라 확연한 구분을 보여주는데, 고도 400 m 지역에서는 굴참나무가 우점하고, 800 m 지역에서는 졸참나무가 우점하였으며, 신갈나무는 400 m 에서는 나타나지 않았고, 800 m 지역부터 드물게 나타나기 시작하여 1,000 m 이상에서는 우점 수종 또는 주요 수종이 되었다. 물감나무는 800 m-1,000 m 에서 주요 수종이었고, 피나무는 고도 1,000 m 이상에서 나타났다.

수고의 분포는 고도에 따른 확연한 차이를 보여주었으며, 특히 1,000 m 지역 이상에서 15 m 이상의 수고를 가진 임목의 수가 현저히 줄어드는 것을 알 수 있었다. 높은 고도의 낮은 온도는 수목의 성장과 물질분배에 영향을 미쳐 수간 : 뿌리 바이오메스의 비율을 낮추는 것으로 알려져 있으며, 또한 성장 속도를 늦추고 임분의 수고를 낮추

는 역할을 한다(Oleksyn *et al.*, 1998). 성삼재 지역의 연평균 온도는 평지보다 약 4°C 정도 낮았으며 이보다 고도가 300 m가 더 높은 구상나무 임분 지역은 평지보다 6-7°C 이상 낮은 온도를 가질 것으로 예상된다. 또한 고도가 올라갈수록 수목의 성장에 역작용을 하는 바람, 온도 등의 기상조건도 임분의 수고를 낮추었다(Woodward, 1993). 고도 1,300 m 지역에서 구상나무 우점 임분과 신갈나무 우점 임분의 수고 분포의 차이는 수종의 차이와 임령의 차이에 의한 것으로 판단된다. 고도 1,300 m의 신갈나무 우점 임분에서 수고 10 m 이상의 임목은 거의 나타나지 않았으며, 이는 신갈나무 우점 임분이 능선을 포함하고 있어(Table 1), 상대적으로 구상나무 우점 임분보다 바람의 영향을 더 많이 받은 것도 한 원인일 것이다(Jarvis *et al.*, 1989).

### 2. 임령에 따른 수종 구성 및 임분 구조

고도가 온도와 습도에 영향하여 임분 내 종의 분포에 영향을 미치는 외부영향인자라면, 임령은 임분의 발달에 따라 종의 구성에 영향을 미치는 내부영향인자라 할 수 있다(Kimmins, 1996; Pickett *et al.*, 1987). 소나무는 극양수이며 초기 수종으로 알려져 있다(임업연구원, 1987). 극양수나 초기수종은 일반적으로 임분의 초기에 들어와 성장하므로(Oliver *et al.*, 1985; Oliver and Larson, 1996), 소나무군락의 연령이 임령과 비슷할 것이라 가정하면 임분 내 소나무의 연령을 바탕으로 임령의 추정이 가능할 것이다. 단, 소나무가 수관 상층에서 매우 드물게 나타나는 경우는 교란 후의 잔존목일 가능성이 있으므로, 임령을 대표한다고 보기 어렵고, 임령의 추정에서 배제시켜야 한다. 소나무의 경우 Site 1에서는 최우점 수종이었으나 Site 2에서는 높은 직경급에서만 분포하였으며 임령이 더 오래된 지역인 고도 1,300 m 지역의 구상나무 임분에서는 드물게 나타났다.

Site 1에서 소나무는 10 cm 이상의 모든 직경급에 고르게 분포하였으나, 연령 분포는 대략 70년생 그룹과 30-40년생 그룹으로 나뉘는 것으로 추정된다(Figure 2-Site 1). 즉 40 cm 이상의 직경급에 속한 소나무 중 대략 10-15% 정도는 약 70년 전에 활착된 그룹이며 그 이후 약 40년쯤 전에 인공적으로 또는 자연적인 교란이 일어나게 되어 소나무의 재갱신이 이루어진 것으로 보인다. 굴참나무를 제외한 활엽수 중 가장 높은 직경급에 속한 38년생 느릅나무도 약 30-40년 전의 교란 가능성과 뒤이은 두번째 연령 그룹의 형성을 뒷받침한다.

Site 2에 나타나는 소나무는 대부분 30 cm 이상 직경급에 분포하고 있으며, 이들은 대략 30년생 이상인 것으로 보인다. 이 임분의 우점 수종인 졸참나무와 물감나무는 30년생 소나무 그룹의 직경급보다 낮은 직경급에 분포하고 있었다. 졸참나무의 직경 분포로 볼 때 졸참나무가 소나

Table 2. Importance Value of 10 major species in the study sites (unit: %).

Species / study sites (approximate altitude)	Site 1 (400 m)	Site 2 (800 m)	Site 3 (1,000 m)	Site 4 (1,300 m)	Site 5 (1,300 m)
<i>Abies koreana</i>	-	-	-	7.3	23.6
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	-	-	-	-	5.6
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	11.7	4.0	11.4
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i>	-	10.1	7.4	-	-
<i>Betula costata</i>	-	-	-	6.4	-
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	2.5	-	-
<i>Carpinus tschonoskii</i>	5.6	-	-	-	-
<i>Cryptomeria japonica</i>	10.3	-	-	-	-
<i>Fraxinus chiisanensis</i>	-	-	-	-	4.9
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	4.1	-	-	-
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	-	-	14.7	-	9.8
<i>Lindera erythrocarpa</i>	2.8	4.3	-	-	-
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	5.7	5.6	-	-
<i>Magnolia sieboldii</i>	-	-	8.7	-	3.4
<i>Morus bombycis</i>	3.4	4.1	-	-	-
<i>Pinus densiflora</i>	33.7	6.9	-	3.3	-
<i>Pinus koraiensis</i>	-	-	-	4.2	2.8
<i>Prunus sargentii</i>	2.0	3.9	-	-	-
<i>Quercus mongolica</i>	-	-	18.2	40.2	10.0
<i>Quercus serrata</i>	-	24.9	-	-	-
<i>Quercus variabilis</i>	16.2	-	-	-	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i>	-	-	-	1.3	-
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	-	-	5.3	13.8	3.4
<i>Rhus tricocarpa</i>	-	3.1	-	-	-
<i>Salix caprea</i>	-	-	-	5.1	-
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	-	4.5	-	-
<i>Stewartia pseudocamellia</i>	-	-	2.9	-	-
<i>Styrax japonicus</i>	4.9	-	-	-	-
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>Pilosa</i>	-	5.4	-	-	-
<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i>	-	-	-	-	4.7
<i>Tilia amurensis</i>	-	-	-	10.0	-
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	2.8	-	-	-	-
<i>Zelkova serrata</i>	4.2	-	-	-	-

무보다 먼저 정착되었다면 광조건과 지피식생과의 경쟁으로 인해 소나무가 성공적으로 갱신되어 30 cm 이상의 직경급으로 자라기 힘들었을 것이므로(배상원, 1994), 졸참나무는 소나무가 들어온 이후 갱신이 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 또한 30 cm 이상 직경급에 드물게 분포하는 물갠나무는 소나무와 비슷한 시기에 갱신이 이루어졌으나 그 밀도가 높지 않아 같은 시기에 이루어진 소나무의 갱신을 크게 방해하지 않은 것으로 판단된다. 낮은 직경급의 17년생 소나무는 약 20년 전에도 부분적인 교란이 일어났음을 나타내주며, 낮은 직경급에서 드물게 나타나는 소나무의 불연속적인 분포는 작은 교란이 지속적으로 일어나 소나무 갱신이 가능한 광조건을 제공해주었음을 의미한다(조재창, 1994).

Site 4(고도 약 1300 m)의 신갈나무 우점 임분에서 가장 높은 직경급에 속한 소나무 그룹의 연령은 대략 60년 내

외였으며, 가장 높은 직경급에 속하는 구상나무 그룹도 56-70년의 연령대에 속했다(Figure 2-Site 4). 따라서 이 임분의 연령은 대략 70년 내외일 것으로 판단하였으나, 59년으로 측정된 직경 12 cm의 신갈나무는 더 오래된 임분일 가능성을 나타낸다. 30년과 44년으로 측정된 잣나무는 임분의 발달과정에서 불연속적으로 갱신된 것으로 보이며, 임분이 어느 정도 발달한 후 소나무와 구상나무, 상층의 신갈나무가 들어온 이후에 갱신된 것으로 보인다.

고도 1,300 m 지역의 구상나무 우점 임분(Site 5)은 소나무가 거의 나타나지 않았으므로 구상나무의 연령을 측정하였다. 구상나무는 비슷한 직경급의 임목이 약 50년의 연령차가 나는 등 직경을 바탕으로 연령을 추정하기에 어려움이 있었다. 그러나 지상부 50 cm 높이에서 측정된 임목 중 가장 오래된 연령이 135년생이었던 것으로 미루어 이 임분은 140년 이상된 임분이라는 것을 알 수 있다. 천



왕봉과 제석봉을 중심으로 한 지리산 동부 지역 구상나무 림에서도 1860년 후반에서 1870년에 많은 수의 구상나무가 갱신되었으며, 300년생까지 구상나무의 연령이 나타났다는 연구 결과가 있다(조도순, 1994).

고도 1,300 m에 위치한 Site 4와 Site 5는 비슷한 온도 조건을 가지고 있으나, 수종의 구성과 연령이 매우 다른 임분이었다. 약 70년 내외로 추정되는 신갈나무 우점 임분은 소나무의 정착 후 바로 들어온 신갈나무로 인해 소나무의 갱신이 더 이상 이루어지지 않고 상층 수관의 소나무가 쇠퇴한 자리를 신갈나무가 이어 받아 소나무는 상층의 직경급에만 불연속적으로 분포하고 신갈나무가 우점하게 된 임분으로 생각할 수 있다(Figure 2-Site 4).

직경분포와 임목의 연령을 비교했을 때 정확한 임령의 추정은 어려웠으나, 조사지역 중 고도 1,300 m 지역의 구상나무 우점 임분이 가장 오래되었고, 1,300 m 지역의 신갈나무 우점 임분과 400 m 지역의 임분은 큰 교란 이후 약 70년정도 지났으며, 800 m 지역의 임분이 가장 최근에 큰 교란이 있었던 지역인 것으로 나타났다. 고도 1,300 m와 1,000 m의 신갈나무 임분에서는 산불의 흔적이 발견되었고, 밀도가 높으나 흉고단면적은 낮은 것도 이 두 임분이 고도 1,300 m의 구상나무림에 비하여 상대적으로 연령이 어린 임분임을 알려준다(O'Hara *et al.*, 1996; Youngblood *et al.*, 2004).

### 3. 임분 변화 예측

임령이 약 30-40년 또는 70년으로 추정된 고도 400 m와 800 m 지역에서, 10 cm 이하의 직경급에서는 소나무가 거의 나타나지 않았다. 조사지역의 소나무가 불연속적인 직경분포를 보이며 높은 직경급에 남아있는 반면, 고도 400 m 지역에서는 굴참나무가, 고도 800 m 지역에서는 졸참나무가 연속적인 직경분포를 보이며 소나무를 대체해가는 것으로 나타났다. 이는 일단 수관이 밀폐된 후에는 광부족과 활엽수와의 경쟁 등으로 인해 더 이상의 소나무 갱신이 일어나지 않았기 때문인 것으로 판단되며, 큰 교란이 일어나지 않는 이상 소나무는 다른 수종으로 대체되어 갈 것이라는 것을 나타낸다(배상원, 1994; Oliver and Larson, 1996). 이는 소나무의 세력이 약화되었을 때 참나무류가 소나무를 대체한다는 다른 지역에서의 연구 결과와도 비슷한 양상이다(이경재 등, 1988). 고도 400 m 지역의 삼나무는 일제시대 이후 식재한 것으로 알려져 있으며, 치수가 계속 발생하며 갱신이 이루어지고 상층으로 자라 올라가고 있었다. 하층과 중층의 주요 수종과 직경급 분포로 볼 때 이 임분에서는 향후 삼나무와 굴참나무의 중요도가 높아질 것으로 보인다.

고도 1,000 m 지역은 신갈나무가 우점하고 있는 지역이나 물갯나무와 노각나무, 물들메나무가 불연속적으로 다

양한 직경급에 분포하고 있는 것으로 보아, 향후 이들 수종의 밀도가 좀 더 늘어날 것으로 보인다.

고도 1,300 m 지역 신갈나무 우점 임분에서의 소나무-신갈나무 직경분포와 구상나무 우점 임분에서의 신갈나무·구상나무 직경 분포는 밀도는 다르지만 서로 비슷한 경향을 나타내어 고도 1,300 m 지역의 우점 수종이 소나무에서 신갈나무로, 신갈나무에서 구상나무로 변해가는 양상을 보여주고 있었다(박광우와 정성호, 1990). 고도 1300 m 지역 신갈나무림에서 연속적으로 분포하는 구상나무와 낮은 직경급에서 나타나기 시작하는 잣나무는 향후 이 임분에서 구상나무와 잣나무의 우점도가 증가할 것을 나타낸다.

신갈나무 우점 임분보다 약 두 배 이상 오래된 것으로 추정되는 구상나무 우점 임분은 40 cm 이상의 높은 직경급에 신갈나무의 불연속적인 분포를 가지고 있으며 20 cm 직경급 이하에서는 신갈나무가 나타나지 않았다(Figure 2-Site 5). 상층 직경급의 불연속적인 분포와 낮은 직경급에서의 부재는 신갈나무가 향후 우점 수종으로 지속되지 않을 것임을 나타낸다고 할 수 있으며, 구상나무의 연속적인 직경분포로 보아 구상나무의 지속적인 우점이 예측된다(Bunyavejchewin *et al.*, 2003; Hoshino *et al.*, 2001). 지리산 동부 지역에서는 구상나무와 잣나무의 중요도가 우점도가 38.8%와 10.2%로 나타났으나, 본 조사지역에서는 23.6%와 2.8%로 상대적으로 낮았으며, 두 지역의 고도가 비슷한 점으로 보아 온도와 습도 조건이 같다고 가정한다면 조사지역은 더 오랜 임분으로 보이는 지리산 동부지역의 구상나무 임분을 닮아가는 경향을 보일 것이며, 이에 따라 구상나무와 잣나무의 우점도가 높아질 것이다(조도순, 1994).

해발고와 임령을 바탕으로 수종의 구성과 임분 구조를 살펴 보았을 때 해발고와 임령은 독립적으로 임분의 변화에 영향을 미쳤으며, 소나무를 이용한 임분의 연령 추정은 임분의 구조 변화를 이해하는데 도움이 되었다(Aplet and Vitousek, 1994; Worbes *et al.*, 2003).

## 결 론

고도에 따라 임분들은 다른 수종 구성을 보였다. 침엽수의 경우 낮은 고도에서는 소나무가, 고도 1,300 m로 올라가면 구상나무가 우점수종으로 나타났다. 참나무류는 고도 400 m 지역의 굴참나무에서 800 m 지역의 졸참나무, 1,000 m 이상에서는 신갈나무로 우점수종이 변하였다. 직경분포는 고도에 따른 차이가 크지 않았으나, 임분의 상층 수고는 고도가 높아짐에 따라 낮아져, 1,000 m 이상에서는 수고 20 m 이상의 임목이 거의 나타나지 않았다. 조사 지역의 임분은 30-70년의 임령을 가진 것으로 나타났

으며, 고도 1,300 m의 구상나무 우점 임분은 140년 이상 된 것으로 추정되었다. 고도 1,300 m 지역에서 표본목의 연령 분포와 직경분포는 임령에 따라 소나무에서 신갈나무, 신갈나무에서 구상나무로 우점종의 변화 가능성을 보여주었다. 해발고와 임령을 바탕으로 수종의 구성과 임분 구조를 살펴 보았을 때 해발고와 임령은 독립적으로 임분의 변화에 영향을 미쳤으며, 직경 분포와 표본목의 연령을 이용한 임령 추정은 임분의 구조 변화를 이해하고 향후 발달을 예측하는데 도움이 되었다. 또한 고도에 따른 수종 구성과 임분 구조의 변화는 기후 변화에 따른 임분의 변화를 예측하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

### 인용문헌

- 강상준. 1984. 지리산 아고산대 침엽수림의 갱신. 한국생태학회지 7(4): 185-192.
- 국립공원관리공단. 2005. 지리산국립공원. [web page < [http://www.npa.or.kr/chiri/nature/ani\\_plant.asp?mode=b&co=plant](http://www.npa.or.kr/chiri/nature/ani_plant.asp?mode=b&co=plant)>, accessed 12. 26. 2005.]
- 기상청. 2005. 기상자료제공. [web page < [http://www.kma.go.kr/kor/kmas/civil/civil\\_01\\_02\\_01.jsp](http://www.kma.go.kr/kor/kmas/civil/civil_01_02_01.jsp)>, accessed 10.6. 2005.]
- 김갑태, 추갑철, 엄태원. 1997. 지리산 천왕봉-덕평봉 지역의 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림. 한국임학회지 86: 146-157.
- 박광우, 정성호. 1990. 고산지대 산화적지의 (山火跡地) 식물생태에 관한 연구-지리산의 제석봉(1,806 m) 지역을 중심으로-. 한국임학회지 79(1): 33-41.
- 배상원. 1994. 천연갱신에 의한 소나무 유령임분의 구조와 무육방법. 한국임학회지 83(1): 50-62.
- 이강영. 1977. 지리산 잣나무집단의 변이에 관한 연구. 한국임학회지 34: 1-14.
- 이경재, 오구균, 임경빈. 1988. 솔잎혹파리 피해적송림의 생태학적 연구 (III). 한국임학회지 77: 315-321.
- 이윤원, 홍성천. 1995. 구상나무림의 군락생태학적 연구. 한국임학회지 84: 247-257.
- 임양재, 김정언. 1992. 지리산의 식생. 중앙대학교 출판부, 서울. 467p.
- 임업연구원. 1987. 한국수목도감. 임업연구원, 서울. 496p.
- 조도순. 1994. 지리산 아고산대 구상나무림의 군집구조 및 침엽수의 직경과 연령분포. 한국생태학회지 17(4): 415-424.
- 조재창. 1994. 울진군 소광리지역 소나무의 임분구조 및 성장양상과 산불과의 관계. 박사학위논문. 서울대학교, 서울. 101 p.
- Aplet, G.H., and Vitousek, P.M. 1994. An Age-Altitude Matrix Analysis of Hawaiian Rain-Forest Succession. The Journal of Ecology 82: 137-147.
- Arista, M. 1995. The structure and dynamics of an *Abies pinsapo* forest in southern Spain. Forest Ecology and Management 74: 81-89.
- Bunyavejchewin, S., LaFrankie, J.V., Baker, P.J., Kanzaki, M., Ashton, P.S., and Yamakura, T.Y. 2003. Spatial distribution patterns of the dominant canopy dipterocarp species in a seasonal dry evergreen forest in western Thailand. Forest Ecology and Management 175: 87-101.
- Cox, G.W. 1996. Laboratory Manual of General Ecology, 7th edition. Times Mirror Higher Education Group, Inc., Dubuque, U.S.A. 278 p.
- Hoshino, D., Nishimura, N., and Yamamoto, S. 2001. Age, size structure and spatial pattern of major tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtusa* forest, Central Japan. Forest Ecology and Management 152: 31-43.
- Jarvis, P.G., Grace, J., Hutchings, N., Monteith, J.L., Shuttleworth, W.J., Fowler, D., Corlett, J., Thomas, J., and Grace, J. 1989. Tree Lines [and Discussion]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 324: 233-245.
- Kimmins, J.P. 1996. Forest ecology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 596 p.
- O'Hara, K.L., Latham, P.A., Hessburg, P., and Smith, B.G. 1996. A structural classification for Inland Northwest forest vegetation. Western Journal of Applied Forestry 11: 97-102.
- Oleksyn, J., Modrzynski, J., Tjoelker, M.G., Zytkowski, R., Reich, P.B., and Karolewski, P. 1998. Growth and Physiology of *Picea abies* Populations from Elevational Transects: Common Garden Evidence for Altitudinal Ecotypes and Cold Adaptation. Functional Ecology 12: 573-590.
- Oliver, C.D., Adams, A.B., and Zasoski, R.J. 1985. Disturbance patterns and forest development in a recently deglaciated valley in the northwestern Cascade Range of Washington, USA. Canadian Journal of Forest Research 15: 221-232.
- Oliver, C.D., and Larson, B.C. 1996. Forest Stand Dynamics. John Wiley and Sons, New York. 520 p.
- Pickett, S.T.A., Collins, S.L., and Armest, J.J. 1987. A hierarchical consideration of causes and mechanisms of succession. Vegetatio 69: 109-114.
- Tyrrel, L.E., and Crow, T.R. 1994. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forests in relation to age. Ecology 75: 370-386.
- Woodward, F.I. 1993. The Lowland-to-Upland Transition--Modelling Plant Responses to Environmental Change. Ecological Applications 3: 404-408.
- Worbes, M., Staschel, R., Roloff, A., and Junk, W.J. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. Forest Ecology and Management 173: 105-123.
- Youngblood, A., Max, T., and Coe, K. 2004. Stand structure in eastside old-growth ponderosa pine forests of Oregon and northern California. Forest Ecology and Management. 199: 191-217.

28. Zar, J.H. 1996. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 662 p.
29. Zhang, S., Zhou, Z., Hu, H., Xu, K., Yan, N., and Li, S. 2005. Photosynthetic performances of *Quercus pannosa* vary with altitude in the Hengduan Mountains, southwest China. Forest Ecology and Management. 212: 291-301.
- 

(2005년 12월 30일 접수; 2006년 1월 25일 채택)